

Improvement of the Specification of the Asphalt Concrete Overlay by Using Polypropylene

Hayder Salman Khudhair

Department of Civil Engineering, University of Karbala, Iraq

h_salman83@yahoo.com

Abstract

The research aims to prepare high-performance asphalt concrete with good specifications for using in asphalt concrete overlay can resist deformations and problems faced and increase its age service. Used all of polypropylene particles as an additive to the asphalt concrete type (AC 60-70) by six ratios (1, 2, 3, 4, 5 and 7) % of optimum asphalt content weight, as an additive for asphalt mixture with a maximum size of the aggregate (19mm). Study the effect of these additions on the volumetric and the mechanical properties of the asphalt concrete and evaluate its performance through Marshall Method test by take at least three specimens of ratio tested.

The results showed that the use of polypropylene particles improve the performance and specifications of asphalt concrete and increase the ability to resist deformations that are exposed, where it was concluded that the addition of ratio (4%) of the weight of the asphalt of polypropylene gives optimum improvement of the performance of the asphalt concrete overlay, where Marshall stability is increased by 47% and flow decreased by 17% compared to untreated mixtures respectively, with volumetric properties within limitations of the specifications.

Key Words: Polypropylene particles, Overlay asphalt concrete, Marshall Test, Hot mix Asphalt.

تحسين مواصفات طبقة الخرسانة الإسفلتية باستخدام حبيبات البولي بروبيلين

حيدر سلمان خضير

قسم الهندسة المدنية، جامعة كربلاء، العراق

h_salman83@yahoo.com

الخلاصة

يهدف البحث إلى إعداد خلطة إسفلتية عالية الأداء تتمتع بمواصفات جيدة لاستخدامها في طبقة التقوية تستطيع مقاومة المشاكل والعيوب التي تتعرض لها وتزيد من عمرها الخدمي. حيث استخدمت حبيبات البولي بروبيلين كمادة مضافة للرابط الإسفلتي نوع (AC 60-70) بستة نسب (1، 2، 3، 4، 5، 7) % من وزن النسبة المثلى للإسفلت مع استخدام ركام ذو المقاس الأعظم 19 ملم. تم دراسة تأثير هذه الإضافات على الخصائص الحجمية والميكانيكية وتقييم أداء الخلطة باستخدام فحص مارشال وبأخذ ما لا يقل عن 3 نماذج لكل نسبة. بينت الدراسة ان استخدام 4% من حبيبات البولي بروبيلين من وزن الإسفلت المثلى أعطت التحسين الأمثل بالأداء مقارنة مع الخلطة المرجعية غير المعالجة حيث زاد ثبات مارشال بنسبة 47% ونقص مقدار الانسياب بمقدار 17% مقارنة بالخلطة المرجعية. كما بينت النتائج ان اضافة مثل هكذا نسبة اعطت خلطة ذات مواصفات حجمية ضمن حدود المواصفة.

الكلمات المفتاحية: حبيبات البولي بروبيلين، طبقة التقوية الاسفلتية، فحص مارشال، الخلطات الحاره.

1- المقدمة

الطريق منشأة هندسية حضارية قديمة تتطور باستمرار تبعاً لتطور المواد المستخدمة في إنشائها وكذلك تطور المركبات المستخدمة لها كما ونوعاً والمواصلات تتميز عن بقية أنواع المواصلات من كونها سهلة الاستخدام من قبل الناس مقارنة مع بقية أنواع المواصلات (البحرية -الجوية -السكك الحديدية) وعليه تعتبر الطرق من العناصر الأساسية التي تساهم في تطور الحياة الاقتصادية والاجتماعية والخدمية للمجتمعات البشرية، مما يدعونا للاهتمام بهذه المنشأة والبحث الدائم في مجال تطوير الطرق والمواد المستخدمة في إنشائها وصيانتها [1].

مئات الكيلومترات من الطرق الرئيسية التي تم إنشائها في العقود الثلاثة الماضية والتي صُممت طبقات رصفها على عمر تصميمي عشرين عاماً وذلك اعتماداً على تقديرات عدد المحاور المكافئة المتوقع أن تمر عليها خلال العمر التصميمي قد بلغت عمرها التصميمي بالفعل بينما تعرضت أجزاء كبيرة من شبكات الطرق السريعة إلى زيادة كبيرة في الأضرار نتيجة الزيادة الكبيرة في كل من حجم حركة المرور واستخدام مركبات أثقل وزناً منذ أوائل عام 1970 مما أدى إلى انخفاض في قيمة دليل الخدمة Present Serviceability Index (PSI) للحد الذي يتوجب فيه إعادة تأهيل هذه الطرق وصيانتها [1].

إحدى التحديات الأساسية التي واجهت وكالات الطرق العالمية في السنوات الأخيرة ليس كيفية تصميم وإنشاء طرق جديدة وإنما كيفية تقييم وصيانة وتطوير القائم منها الآن لمواجهة الميول الجديدة في الحركة المرورية نحو حمولات أكبر وضغط عجالات أكبر واستخدام أكبر للمركبات.

في نموذج الرصف الإسفلتي يتم في أعمال الصيانة وإعادة التأهيل والتطوير اللجوء بشكل كبير إلى استخدام طبقة من الخلطة الإسفلتية توضع فوق سطوح الطرق المراد صيانتها وإعادة تأهيلها أو تطويرها وتدعى هذه الطبقة (طبقة الخرسانة الإسفلتية Asphalt Concrete Overlay) هذه الطبقة تساعد في زيادة قدرة تحمل الطريق الحالي للحمولات المرورية وكذلك تساعد في تصحيح الميول وتصحيح العيوب الهيكلية التي يمكن أن تظهر على الطريق وتقلل من أدائه، واستخدام هذه الطبقة يضمن لطبقات الرصف التي تم صيانتها خدمة مساوية لطبقات رصف جديدة مصممة في نفس الموقع وعليه فإن استخدام هذه الطبقة في صيانة الطرق يطور هذه الطرق لتحمل حركة مرورية أغزر وأثقل وزناً كما تعزز هذه الطبقة من أداء طبقات الرصف في حياتها المتبقية وتزيد من عمرها التصميمي وتساعد في إعادة تأهيل الطرق وإعادتها للخدمة بزمن وجهد أقل [2] .

تعاني الطرق الإسفلتية مجموعة من المشاكل نتيجة الحرارة وزيادة حجم الحركة المرورية واستخدام حمولات أثقل للمركبات ، و منها الشقوق الانعكاسية والتي يمكن تعريفها بأنها ظاهرة انتشار الشقوق في طبقة التقوية الإسفلتية بشكل مباشر عند مواقع الشقوق والفواصل الموجودة في طبقات الرصف الإسفلتية أو الخرسانية التي تستند عليها طبقة التقوية الإسفلتية تدعى بالشقوق الانعكاسية ، ويعود السبب في نشوء وانتشار هذه الشقوق ضمن طبقة التقوية الإسفلتية إلى الاجهادات الناتجة عن تغيرات درجة الحرارة وكذلك الاجهادات الناتجة عن الحركة المرورية [4][3] .

الانهيار الناتج من الحرارة - تمتلك كل من طبقة الاهتراء وطبقات الرصف الأخرى قيم مختلفة لعوامل المرونة وتشوهات مختلفة نتيجة للتغيرات الحرارية واختلاف المواد المكونة لها وعليه فإن تعرض هذا التركيب من المواد للتغيرات في درجات الحرارة اليومية والموسمية والتي تترافق عادة بدورات من التجمد والذوبان [5].

الانهيار الناتج عن الحركة المرورية - إن حركة المرور وبالأخص الحركة الناتجة عن مرور المركبات الثقيلة تنتج عنها تعاقب دورات التعب التي تجهد طبقة التقوية الإسفلتية وبفعل الشد والضغط والتفريغ والتحميل للاجهادات، ومن طرق علاج المشاكل المذكورة أعلاه هو استخدام طبقة التقوية الإسفلتية (HMA Overlay) [5].

على الرغم من الانتشار الواسع لاستخدام طبقة التقوية الإسفلتية (HMA Overlay) كإحدى أهم الطرق المتبعة في عملية الصيانة وإعادة التأهيل والتطوير للطرق وأكثرها انتشاراً بسهولة وسرعة تنفيذها وقلة تكاليفها، إلا أن هنالك العديد من العيوب والمشاكل التي ترافق استخدامها والتي ينتج معظمها عن انعكاس لعيوب طبقات الرصف القديمة التي تركز عليها طبقة التقوية الإسفلتية.

2- أبحاث ودراسات سابقة في مجال تعديل الخلطة الإسفلتية بالمواد البوليميرية:

(Carpenter S.H. and VanDam T) أجروا سلسلة شاملة من الاختبارات على مجموعة من الإضافات البوليميرية لتأسيس قاعدة من البيانات التجريبية يمكن الاستفادة منها وجعلها مؤشر عند تصميم الخلطات الإسفلتية المعدلة بالإضافات البوليميرية في هذه الدراسة تم تكوين خمس خلطات معدلة بالبوليميرات

بالاعتماد على الرابط الإسفلتي AC-5 وثلاث أنواع قياسية من الإسفلت هي (AC-5, AC-10, AC-20) : استخدمت للمراقبة والمقارنة. الرابط الإسفلتي الأساسي AC-5 استخدم في جميع الخلطات الإسفلتية المعدلة بالبولىميرات بينما استخدم النوعين الآخرين من الرابط الإسفلتي في الخلطات الإسفلتية غير المعدلة. البولىميرات المستخدمة متغيرة الكميات والأنواع ومصدرها (Shell Development Company, Houston, Texas) [8].

(Perez F.E and Gordillo J) في عام 1990 درسوا تأثير استخدام الروابط الإسفلتية التالية في تصنيع خلطة إسفلتية مسامية على الخصائص المختلفة للخلطة الإسفلتية: (إسفلت 80-100 معدل ب EVA الرابط الإسفلتي التقليدي AC 60-70 للمقارنة)، هذه الدراسة أجريت في مختبر الطرق في جامعة Cantabria ومركز أبحاث ال E.S.M. تمت المقارنة بين أداء العينات المصممة بالرابط الإسفلتي المعدل بالبولىميرات مع تلك المصممة بالرابط الإسفلتي التقليدي [9].

(Khattak M. J. and Baladi G.Y) بحثوا في تأثير الإضافات البولىميرية التالية على عدد من الخصائص الهندسية للخلطات الإسفلتية: (styrene-butadiene-styrene (SBS) and styrene-ethylene-butylene-styrene (SEBS)) [10].

(Qi Xicheng, Sebaaly P.E, and Epps J.A) أجروا مقارنة بين سلوك التشوهات الدائمة في حالة الخلطات الإسفلتية الغير معدلة بالإضافات البولىميرية وتلك المعدلة بالبولى إيثيلين [11].

(Al-Hadedy A) درس تأثير إضافة البولى إيثيلين بنسب مختلفة على خصائص الإسفلت والخلطة الإسفلتية بشكل عام، هذه الدراسة وجدت بأن الرابط الإسفلتي المعدل بالبولى إيثيلين يتميز بحساسية حرارية أقل من الرابط الإسفلتي غير المعدل، كما ويبدى مقاومة أفضل لفعل الشخوخة والعوامل المناخية ووجدت أيضاً بأن تضمين مادة البولى إيثيلين ضمن الخلطة الإسفلتية يعطيها نتائج مرضية في اختبار مارشال من حيث ثبات مارشال والقيم الأخرى للاختبار، كما ويحسن من مقاومة الخلطة الإسفلتية على الشد [12].

(Abd-Allah Ibrahim) درس تأثير ثلاث أنواع مختلفة من المعدلات البولىميرية وبنسب مختلفة على مواصفات الخلطة الإسفلتية: hydrated lime, high density polyethylene and styrene-butadiene-rubber حيث وجد بأن إضافة الهيدرات والبولى إيثيلين عالي الكثافة HDPE كإضافات للخلطة الإسفلتية يحسن من مقاومتها على الشد ومن مقاومتها لتأثير الماء، كما أن إضافة 8% من وزن الإسفلت من البولى إيثيلين عالي الكثافة يزيد مقاومة الخلطة الإسفلتية على الشد بنسبة 38.7% [13].

(Hanaa Ahmad Kaleel) في عام 2004 بحثت في المعالجات الممكن إجراؤها للتقليل من التشوهات وانهيار طبقة التقوية الإسفلتية وبشكل خاص مقاومة الشقوق الانعكاسية، تضمنت المعالجات استخدام نوعين من الإضافات (مطاط الإطارات المعاد تدويره، البولى إيثيلين عالي الكثافة) (HDPE) بنسب مختلفة من وزن الإسفلت كما تضمنت أيضاً استخدام نوعين من الطبقات البولىميرية المشتتة للإجهادات (Non-Woven Geotextile, Tensar Geogrid)، تم استخدام الاختبارات التالية في الدراسة (اختبار مارشال، اختبار مقاومة الشد غير المباشر، اختبار الزحف، اختبار مرور العجلة) بعدة درجات للحرارة [5].

(Kaloush K.E, Zeiada W.A, Biligiri K.P, Rodezno M.C and Reed J)، في عام 2010

قاموا باستخدام كل من ألياف البولي بروبيلين وألياف الأراميد لتحسين خصائص الخلطة الإسفلتية [14] .

3- أهمية البحث والهدف منه:

نتيجة للاهتمام الكبير والتوجه نحو تطوير الطرق والدراسات التي تناولت موضوع تحسين وصيانة الطرق القائمة والتي قاربت من انتهاء العمر التصميمي لها والطرق التي تعرضت إلى أضرار كبيرة نتيجة العوامل المختلفة أو تلك الطرق المراد تطويرها لتصبح قادرة على تحمل حجوم أكبر من حركة المرور وأوزان أكبر للمركبات ، نتيجة للانتشار الواسع للبوليميرات في حياتنا اليومية والتطور الصناعي الكبير لتطبيقاتها كان لا بد من دراسة أثر إضافة البوليميرات إلى الخلطة الإسفلتية على تحسين مواصفات طبقة التقوية الإسفلتية، حيث يمكن للتفاعلات التي تتم بين البوليميرات بأنواعها المختلفة والإسفلت وكذلك السلوك الجديد للخلطة الإسفلتية المدعمة بالمواد البوليميرية أن تزيد القدرة على مواجهة المشاكل والعيوب الناتجة عن عوامل المرور المتزايدة في السنوات الأخيرة (حمولات مرورية أكبر، حجم مرور أكبر، ضغط عجلات أكبر) إضافة إلى زيادة القدرة على التغلب على الكثير من المشاكل والعيوب التي تتعرض لها طبقة التقوية الإسفلتية بشكل خاص والخلطة الإسفلتية بشكل عام .

يهدف البحث إلى إعداد خلطة إسفلتية عالية الأداء تتمتع بمواصفات جيدة لاستخدامها في طبقة التقوية تستطيع مقاومة المشاكل والعيوب التي تتعرض لها وتزيد من عمرها الخدمي، استخدمت حبيبات البولي بروبيلين كمادة مضافة للرابط الإسفلتي بستة نسب (1, 2, 3, 4, 5, 7) % من وزن الخلطة الإسفلتية كمادة مضافة للخلطة الإسفلتية ذات المقاس الأعظم للركام الخشن والناعم (19mm) والنسبة المثالية من أسفلت (AC 60-70). دراسة تأثير هذه الإضافات على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخلطة الإسفلتية وتقييم الأداء تم من خلال اختبار مارشال بأخذ ما لا يقل عن ثلاث عينات لكل نسبة مختبريه.

بينت النتائج أن استخدام حبيبات البولي بروبيلين يحسن من أداء ومواصفات الخلطة الإسفلتية ويزيد القدرة على مقاومة التشوهات والتشققات التي تتعرض لها وبالأخص الشقوق الانعكاسية، حيث تم الاستنتاج بأن إضافة نسبة (4%) من وزن الإسفلت من حبيبات البولي بروبيلين يعطي التحسين الأمثل لأداء طبقة التقوية الإسفلتية حيث يزداد ثبات مارشال بنسبة 47% والانسياب ينقص بنسبة 17% ، مع تحسن الخصائص الفيزيائية.

4 - البرنامج العملي: - تحضير المواد وتصميم الخلطة الإسفلتية المرجعية وإضافة حبيبات

البولي بروبيلين

من أجل دراسة تأثير إضافة حبيبات وألياف البولي بروبيلين على تحسين أداء طبقة التقوية الإسفلتية خلال عمرها التصميمي من خلال التحسين على خصائص الخلطة الإسفلتية المستخدمة في تكوين هذه الطبقة، تم في هذا البحث بشكل أساسي الاعتماد على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية التي يعطيها كل من اختبار مارشال واختبار مقاومة الشد غير المباشر لدراسة تأثير تلك الإضافات على مختلف الخصائص .

1.4: - تحضير المواد

تم تحديد المواد المستخدمة في هذه الدراسة والتي تشمل (الركام الخشن و الناعم والفلر، الإسفلت، بيبات البولي بروبيلين)

أ - الركام: الركام الخشن والناعم المستخدم في البحث هي عبارة عن مواد متوفرة في مدينة كربلاء.

ب - الفلر: مادة الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي (ordinary Portland cement).

ج - الإسفلت: تم إحضار أسفلت بترولوي من مصفاة الدورة ويبين الجدول رقم (2) خصائص الإسفلت المستخدم في البحث. (AC 60-70)

د - المواد البوليميرية: تم إحضار (البولي بروبيلين بشكل حبيبات) وتم دراسة تأثيرها على خصائص الخلطة الإسفلتية باعتبارها من البوليميرات المطاوعة حرارياً ونظراً لتوفرها وتطبيقاتها الواسعة والخصائص المميزة التي تتمتع بها وبشكل خاص الخصائص الحرارية، والتي جهزت من الاسواق المحلية في محافظة كربلاء.

المواصفات والخصائص الأساسية لحبيبات البروبيلين المستخدمة في البحث تم تحديدها قبل الجهة المصنعة وكما هو مبين في الجدول (3).

تم إجراء الاختبارات اللازمة للركام الخشن والناعم والفلر وفق المواصفات الفنية العالمية للاختبارات والمواد، (American Society of Testing and Materials, 2004) ونتيجة لهذه الاختبارات تم تحديد خصائص الركام الخشن والناعم والفلر كما هو مبين في الجدول رقم (1).

2.4: - تصميم الخلطة الإسفلتية المرجعية

لخلطة الإسفلتية المرجعية تم تصميمها وفق طريقة مارشال في التصميم ومعاييرها (ASTM, [18] D1559)، حيث تم إضافة ستة نسب من الإسفلت (4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5) % كنسبة مئوية من وزن الخلطة الإسفلتية وتحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخلطة الإسفلتية من أجل كل نسبة من نسب الإسفلت المضافة.

في طريقة مارشال يتم تمثيل العلاقة بين نسبة الإسفلت المضافة والخصائص الفيزيائية والميكانيكية التي يعطيها الاختبار، وبدراسة هذه العلاقات تم تحديد نسبة الإسفلت المثالية التي تكون من أجلها خصائص الخلطة الإسفلتية محققة لمتطلبات التصميم المحددة وفق طريقة مارشال والتي يجب أن تجمع بين الخصائص الأساسية التي يجب أن تتمتع بها الخلطة الإسفلتية، والجدول رقم (2) يبين قيم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية التي أعطتها الخلطة الإسفلتية وفق كل نسبة من نسب الإسفلت المضافة.

جدول (1): خصائص الركام والفيلر

المواصفة ASTM [18]	نسبة الامتصاص %	Gse	G sb (Dry)	G sb (SSD)	الوزن النوعي الظاهري	المادة
C127-88	2.33	2.56 9	2.53 5	2.57 6	2.603	الركام الخشن
C128-97	0.50	2.67 0	2.64 7	2.66 3	2.692	الركام الناعم
C128-97	-	2.72 0	-	-	2.720	الفيلر
C131-96	عامل احتكاك لوس أنجلوس (Los-Angeles Abrasion) %					
	33 < 35					
D2419-95	المكافئ الرملي (Sand Equivalent) %					
	63 > 50					

جدول رقم (2) خصائص الرابط الإسفلتي

الخاصية	المواصفة ASTM [18]	الوحدة	القيمة	الحدود المسموحة
الغرز (25°C, 100gr, 5sec)	D5	1/10 mm	65	60 – 70
(25°C, 5cm/min) قابلية السحب	D113	Cm	>100	≥ 100
حد الليونة (Ring & Ball)	D36	°C	47	40 -50
الوزن النوعي (25°C)	D70	-	1.03	1.02 - 1.04
نقطة الوميض (Cleveland Open Cup)	D92	°C	318	≥ 240
النقص في الوزن (163°C, 50gr, 5h)	D1754	%	0.248	≤ 0.80

جدول رقم (3) المواصفات والخصائص الأساسية لحبيبات البروبلين

الخاصية	المواصفة ASTM [18]	الوحدة	القيمة
نسبة الذوبان (Melt Flow Index)	D1238	gr/10min	10
الكثافة	D1505	gr/cm ³	0.943
نقطة الاشتعال (Softening Point)	D1525B	°C	135

الجدول رقم (4 - 1) خصائص الخلطة الإسفلتية الموافقة لنسب الإسفلت المضاف

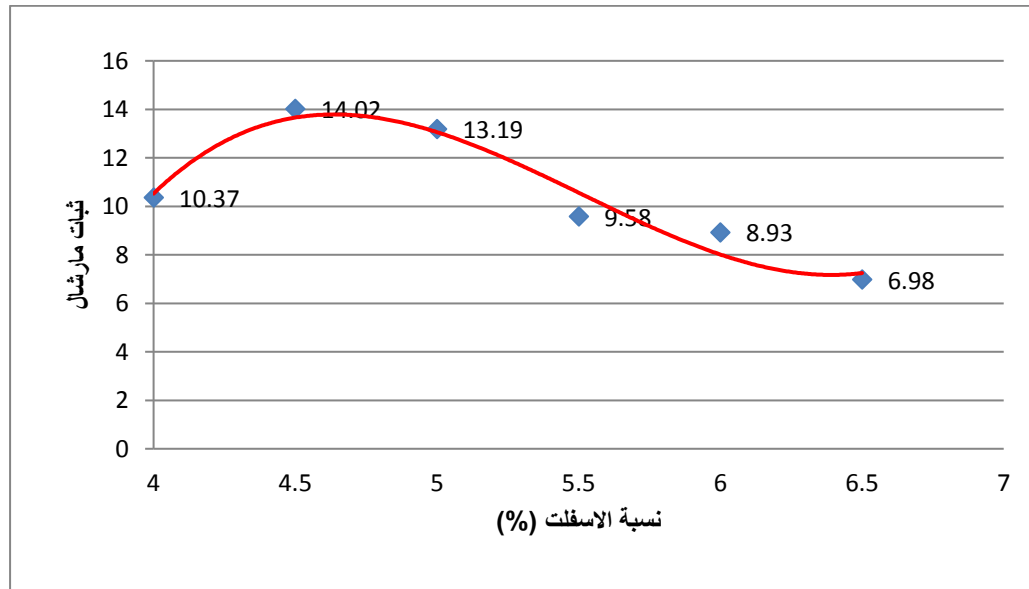
نسبة الإسفلت (%)	العينة	ارتفاع العينة (mm)	عامل التصحيح	ثبات مارشال (KN)	الثبات المصحح	المعدل للثبات (mm)	الزحف (mm)	معدل الزحف (mm)
4	A01	58.2	1.14	8.64	9.85	10.37	2.70	2.57
	A02	61.0	1.04	9.33	9.70		2.55	
	A03	62.0	1.00	11.58	11.58		2.45	
4.5	A11	63.0	1.00	13.98	13.98	14.02	2.90	2.57
	A12	61.5	1.04	13.98	14.54		2.80	
	A13	64.0	1.00	13.54	13.54		3.05	
5	A21	70.0	0.86	15.31	13.17	13.19	3.30	3.38
	A22	59.0	1.14	13.37	15.24		3.40	
	A23	68.0	0.89	12.52	11.15		3.45	
5.5	A31	67.5	0.89	8.09	7.20	9.58	3.65	3.65
	A32	70.0	0.86	12.53	10.77		3.60	
	A33	73.5	0.81	13.29	10.77		3.70	
6	A41	65.0	0.96	10.19	9.78	8.93	4.60	4.63
	A42	63.0	1.00	8.20	8.20		4.50	
	A43	63.5	1.00	8.80	8.80		4.80	
6.5	A51	74.5	0.78	8.16	6.36	6.98	6.05	5.93
	A52	67.0	0.89	6.49	5.78		5.95	
	A53	66.5	0.93	9.48	8.81		5.80	

جدول (4 - 2) خصائص الخلطة الإسفلتية الموافقة لنسب الإسفلت المضاف

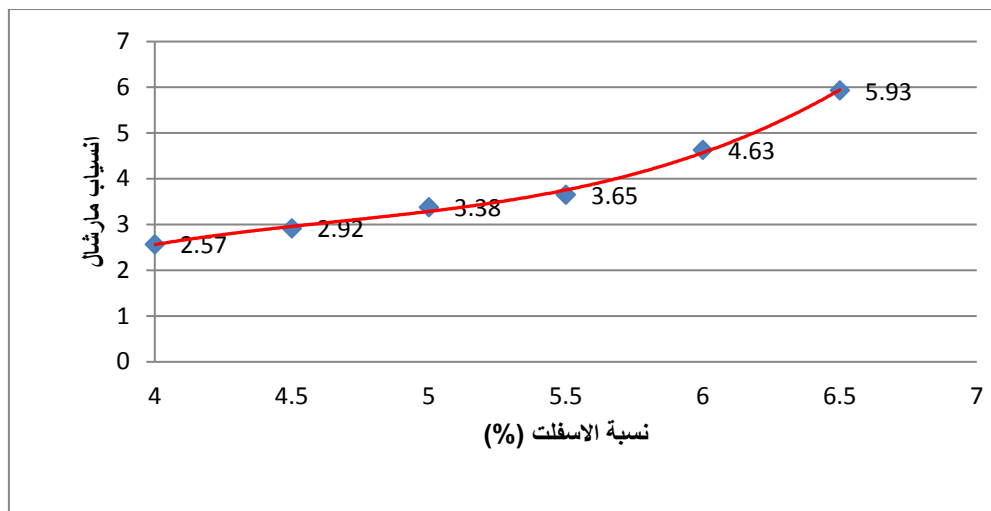
نسبة الإسفلت (%)	العينة	الوزن النوعي الحجمي Gmb	المعدل Gmb	الوزن النوعي الاعظمي Gmm	الفراغات الهوائية (%) Pa	المعدل (%) Pa
4	A01	2.294	2.260	2.459	6.67	8.09
	A02	2.234		2.459	9.13	
	A03	2.251		2.459	8.46	
4.5	A11	2.325	2.307	2.431	4.37	5.08
	A12	2.312		2.431	4.89	
	A13	2.285		2.431	5.99	
5	A21	2.340	2.317	2.408	2.83	3.80
	A22	2.320		2.408	3.64	
	A23	2.290		2.408	4.92	
5.5	A31	2.338	2.337	2.385	1.99	2.00
	A32	2.327		2.385	2.44	
	A33	2.348		2.385	1.57	
6	A41	2.355	2.354	2.382	1.11	1.17
	A42	2.344		2.382	1.58	
	A43	2.362		2.382	0.82	
6.5	A51	2.351	2.348	2.375	1.02	1.14
	A52	2.351		2.375	1.02	
	A53	2.343		2.375	1.36	

جدول (4 - 3) خصائص الخلطة الإسفلتية الموافقة لنسب الإسفلت المضاف

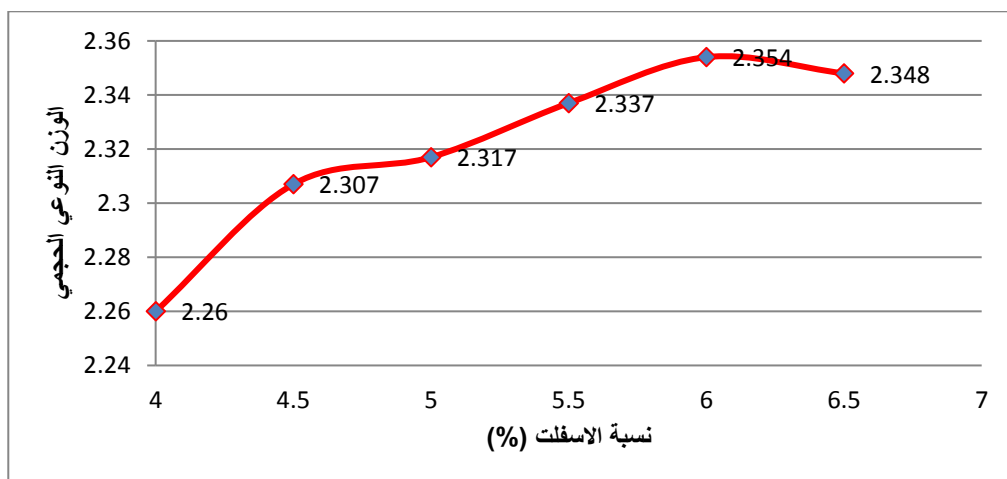
نسبة الاسفلت (%)	العينة	الوزن النوعي الحجمي للخلطة الاسفلتية Gsb	نسبة الحصى المكسر (%) Ps	نسبة الفراغات للحصى المكسر (%) V.M.A	المعدل (%) V.M.A	الفراغات المليئة بالإسفلت (%) V.F.A	المعدل (%) V.F.A
4.0	A01	2.592	96.00	15.01	16.30	55.56	50.61
	A02	2.592	96.00	17.25		47.09	
	A03	2.592	96.00	16.64		49.17	
4.5	A11	2.592	95.50	14.34	14.98	69.55	66.21
	A12	2.592	95.50	14.81		66.99	
	A13	2.592	95.50	15.80		62.08	
5.0	A21	2.592	95.00	14.23	15.08	80.13	75.04
	A22	2.592	95.00	14.95		75.62	
	A23	2.592	95.00	16.08		69.37	
5.5	A31	2.592	94.5	14.76	14.77	86.54	86.50
	A32	2.592	94.5	15.16		83.88	
	A33	2.592	94.5	14.40		89.09	
6.0	A41	2.592	94.00	14.58	14.63	92.42	92.06
	A42	2.592	94.00	14.98		89.48	
	A43	2.592	94.00	14.33		94.28	
6.5	A51	2.592	93.50	15.19	15.28	93.26	92.58
	A52	2.592	93.50	15.19		93.28	
	A53	2.592	93.50	15.48		91.19	



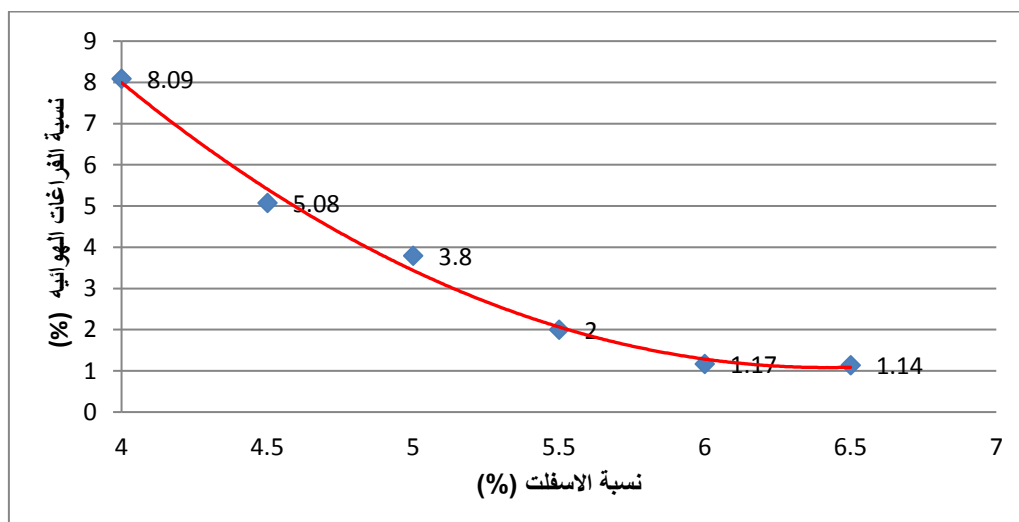
شكل (1) علاقة نسبة الاسفلت مع ثبات مارشال



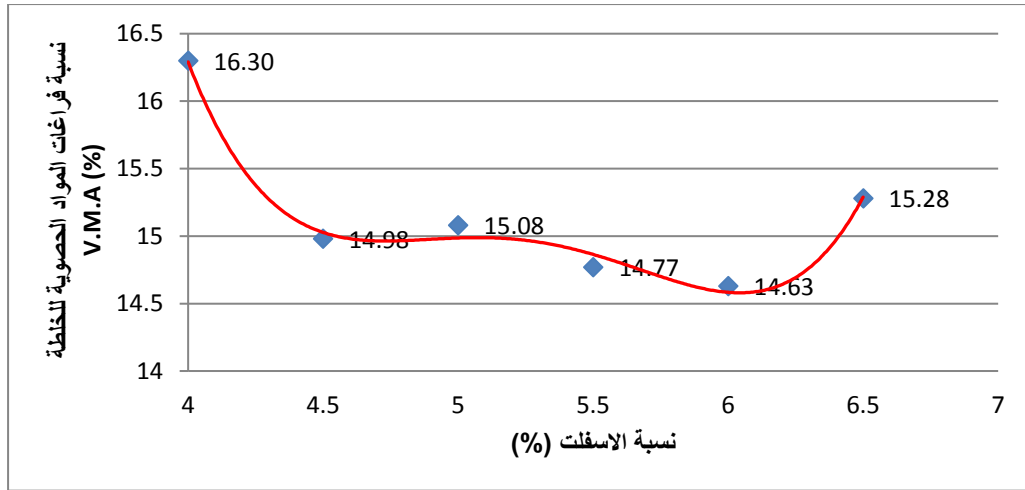
شكل (2) علاقة نسبة الاسفلت مع انسياب مارشال



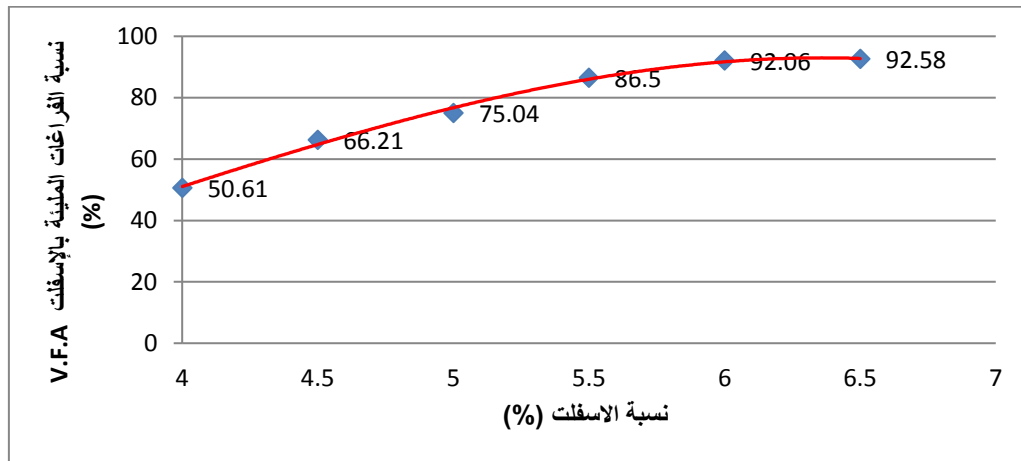
شكل (3) علاقة نسبة الاسفلت مع الوزن النوعي الحجمي



شكل (4) علاقة نسبة الاسفلت مع نسبة الفراغات الهوائية



شكل (5) علاقة نسبة الإسفلت - نسبة فراغات الركام الخشن والناعم والفِر في الخلطة الإسفلتية



شكل (6) علاقة نسبة الإسفلت - نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت

بعد تحديد خصائص مارشال تم تمثيل العلاقة بين نسبة الإسفلت المضافة وبين كل خاصية من الخصائص التي يعطيها اختبار مارشال (ثبات مارشال، انسياب مارشال، الوزن النوعي الحجمي، نسبة الفراغات الهوائية، نسبة فراغات الحصى المكسر في الخلطة الإسفلتية، نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت) وفق الأشكال (1، 2، 3، 4، 5، 6) على الترتيب، وبدراسة وتحليل المنحنيات الناتجة في الأشكال السابقة نجد بأنه:

من الشكل (1) نلاحظ أن قيمة الثبات لمارشال تزداد بزيادة نسبة الإسفلت حتى الوصول إلى قيمة عظمى للثبات بعدها تميل قيمة الثبات للتناقص مع زيادة نسبة الإسفلت، وتفسير ذلك بأنه عندما تكون نسبة الإسفلت منخفضة فإن التماسك بين الركام الخشن و الناعم يكون ضعيفا ومع زيادة نسبة الإسفلت الذي يلعب دور المادة الرابطة يزداد التماسك حتى الوصول إلى القيمة العظمى للثبات والتي تتخفف بعدها قيمة الثبات حيث تصبح نسبة الإسفلت المضافة كبيرة مما يسبب في تقليل التماسك بين حبات الركام الخشن و الناعم ويسهل انزلاقها على بعضها البعض مما يجعل الحبيبات تعوم ضمن الإسفلت الأمر الذي يؤدي إلى التقليل من قيمة الثبات لمارشال.

من الشكل (2) نلاحظ أن قيمة الانسياب تزداد مع زيادة نسبة الإسفلت المضافة، وتفسير ذلك بأنه مع زيادة نسبة الإسفلت المضافة تسهل حركة حبيبات الركام الخشن و الناعم في الخلطة الإسفلتية ويقل الاحتكاك فيما بينها وبالتالي تزداد قابليتها للانزلاق مما يزيد من قيم الانسياب.

من الشكل (3) نلاحظ بأن الوزن النوعي الحجمي المعبر عن الكثافة الحجمية للخلطة الإسفلتية يزداد مع زيادة نسبة الإسفلت حتى وصول المنحني لقيمة عظمى وبعد هذه القيمة يتناقص الوزن النوعي الحجمي مع الزيادة في نسبة الإسفلت ، ويعود ذلك إلى أنه مع زيادة نسبة الإسفلت يقل الاحتكاك بين حبات الركام الخشن و الناعم ويسهل إنزلاقها وحركتها فيما بينها مما يزيد من فاعلية الرص وبالتالي تزداد كثافة الخلطة الإسفلتية ويستمر هذا التأثير بزيادة نسبة الإسفلت حتى الوصول إلى قيمة عظمى بعدها تلعب الزيادة في نسبة الإسفلت دوراً عكسياً حيث تؤدي للتباعد بين الحبات وزيادة الفراغات وقلة فاعلية الرص مما يؤدي إلى انخفاض قيمة الوزن النوعي الحجمي وبالتالي الكثافة الحجمية.

من الشكل (4) نلاحظ بأن نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الإسفلتية تنخفض مع زيادة نسبة الإسفلت المضافة ، والسبب في ذلك يعود إلى أن الإسفلت المضاف جزء منه تمتصه حبيبات الركام الخشن و الناعم والمواد المائلة وتتعلق كميتها بالتركيب الحبي للخلطة المواد المائلة ويسمى بالإسفلت المتشرب ، والجزء المتبقي يغلف الركام الخشن و الناعم والمواد المائلة ويؤدي وظيفة الإسفلت الرئيسية كمادة رابطة في الخلطة الإسفلتية ويدعى هذا الجزء بالإسفلت الفعال ، وبالتالي مع زيادة نسبة الإسفلت عن الكمية الممتصة من قبل حبيبات الركام الخشن و الناعم والمواد المائلة والكمية اللازمة لتغليف الركام الخشن و الناعم ستتشكل كمية زائدة من الإسفلت تعمل على ملئ الفراغ المتبقي بين الركام الخشن و الناعم المغلفة بالإسفلت مسببةً بذلك في انخفاض نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الإسفلتية ، بالإضافة إلى أن زيادة الكثافة الحجمية مع زيادة نسبة الإسفلت تعني رص الخلطة بشكل جيد وبالتالي انخفاض نسبة الفراغات الهوائية.

من الشكل (5) نلاحظ بأن نسبة الفراغات بين الركام الخشن و الناعم والمواد المائلة في الخلطة الإسفلتية تتناقص بازدياد نسبة الإسفلت المضافة حتى الوصول إلى قيمة صغرى لنسبة الفراغات تبدأ بعدها نسبة فراغات الركام الخشن و الناعم والمواد المائلة بالازدياد مع زيادة نسبة الإسفلت ، وهذا يعود إلى أن الإسفلت يساعد على سهولة انزلاق الركام الخشن و الناعم والمواد المائلة على بعضها البعض فمع زيادة نسبة الإسفلت تزداد فاعلية الرص وتزداد كثافة الخلطة الإسفلتية وبالتالي تقل نسبة الفراغات بين الركام الخشن و الناعم والمواد المائلة ، حتى الوصول إلى النسبة التي يلعب الإسفلت عندها دوراً عكسياً حيث يقلل من فاعلية الرص وبالتالي تنخفض كثافة الخلطة الإسفلتية وتزداد نسبة الفراغات بين الركام الخشن و الناعم والمواد المائلة في الخلطة الإسفلتية.

من الشكل (6) نلاحظ أن نسبة الفراغات التي يملؤها الإسفلت تزداد مع زيادة نسبة الإسفلت المضافة والمنحني المتشكل يكون عكس المنحني المتشكل من علاقة نسبة الإسفلت مع الفراغات الهوائية في الخلطة الإسفلتية ، والسبب في ذلك يعود إلى نفس المناقشة الواردة عن الشكل (4)

وبعد دراسة المجال الذي تحقق فيه نسبة الإسفلت المضافة لشروط التصميم وللقيم الحدية الموضحة في الجدول رقم (2) تم اعتماد نسبة الإسفلت (4.8%) من وزن الخلطة الإسفلتية كنسبة المثالية التي تحقق القيم الأفضل للخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخلطة الإسفلتية حيث كانت خصائص الخلطة الإسفلتية المرجعية الموافقة لنسبة الإسفلت المثالية موضحة كما في الجدول رقم (5) .

الجدول رقم (5) خصائص الخلطة الإسفلتية المرجعية

الخاصية	القيمة	القيم الحدية القيمة [2]
نسبة الإسفلت المثالية (%)	4.8	–
ثبات مارشال (KN)	12.46	≥ 11
انسياب مارشال (mm)	3	2 - 4
الوزن النوعي الحجمي (Gmb)	2.319	–
نسبة الفراغات الهوائية (%)	4.14	3 - 5
نسبة فراغات الركام الخشن و الناعم و المواد المألئة (V.M.A %)	14.91	≥ 14
نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت (V.F.A %)	72.9	65 - 85

3.4: - تأثير إضافة حبيبات البولي بروبيلين على خصائص الخلطة الإسفلتية

تم دراسة تأثير إضافة حبيبات البولي بروبيلين على خصائص الخلطة الإسفلتية من خلال إضافتها إلى الرابط الإسفلتي بنسب مختلفة % (0,1, 2, 3,4,5,7) من وزن الإسفلت، وتشكيل عينات من الخلطة الإسفلتية المعدلة بالنسب السابقة بمعدل ثلاث عينات على الأقل من أجل كل نسبة من نسب الإضافة وأخذ القيمة الوسطية ومقارنتها مع العينات غير المعدلة بالحبيبات، وذلك بالاعتماد على الخصائص التي يعطيها كل من اختبار مارشال وتحديد النسبة الأفضل من الحبيبات التي تعطي التحسين الأفضل في خصائص الخلطة الإسفلتية.

اختبار مارشال (Marshall Test)

أضيفت حبيبات البولي بروبيلين إلى الرابط الإسفلتي وتم تشكيل عينات الخلطة الإسفلتية المعدلة وحددت قيم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية التي يعطيها اختبار مارشال (ثبات مارشال، انسياب مارشال، صلابة مارشال، الوزن النوعي الحجمي، نسبة الفراغات الهوائية، نسبة فراغات الركام الخشن والناعم والمواد المألئة في الخلطة الإسفلتية، نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت) من أجل كل نسبة من نسب الحبيبات المضافة كما في الجدول (6).

الجدول: (6-1) خصائص اختبار مارشال الموافقة لنسبة حبيبات البولي بروبيلين

حبيبات البولي بروبيلين (%)	العينة	ارتفاع العينة (mm)	عامل التصحيح	ثبات مارشال (KN)	الثبات المصحح	معدل الثبات (mm)	الانسياب (mm)	معدل الانسياب (mm)	صلابة مارشال (KN/m ²)
0	B1	63.0	1.00	13.03	13.03	12.55	2.83	2.98	4.23
	B2	63.5	1.00	12.66	12.66		3.00		
	B3	68.5	0.89	13.44	11.96		3.10		
1	B11	64.0	1.00	14.00	14.00	13.54	2.70	2.83	4.79
	B12	67.0	0.93	14.15	13.16		3.00		
	B13	67.0	0.93	14.48	13.47		2.80		
2	B21	64.5	0.96	15.16	14.56	14.60	2.90	2.77	5.28
	B22	66.7	0.93	15.06	14.01		2.60		
	B23	67.5	0.98	17.11	15.23		2.80		
3	B31	67.0	0.93	19.14	17.80	17.31	2.70	2.60	6.66
	B32	67.0	0.93	19.02	17.69		2.50		
	B33	63.5	1.00	16.44	16.44		2.60		
4	B41	68.4	0.89	21.38	19.03	18.43	2.40	2.47	7.49
	B42	71.0	0.83	21.98	18.24		2.40		
	B43	67.0	0.93	19.39	18.03		2.60		
5	B51	65.0	0.96	21.24	20.39	19.63	2.40	2.45	8.02
	B52	64.5	0.96	20.34	19.53		2.45		
	B53	67.0	0.93	20.40	18.97		2.50		
7	B61	66.0	0.93	15.61	14.52	14.99	3.00	2.87	5.24
	B62	65.5	0.96	16.04	15.40		2.90		
	B63	68.0	0.89	16.91	15.05		2.70		

الجدول: (6-2) خصائص اختبار مارشال الموافقة لنسبة حبيبات البولي بروبيلين

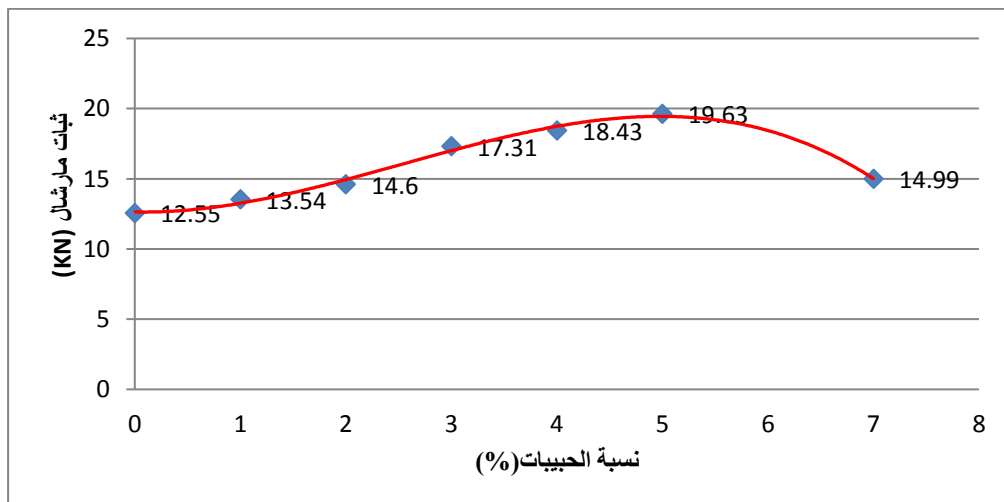
حبيبات البولي بروبيلين (%)	العينة	الوزن النوعي الحجمي Gmb	المعدل Gmb	الوزن النوعي الاعظم Gmm	الفراغات الهوائية (%) Pa	المعدل (%) Pa
0	B1	2.357	2.341	2.441	3.47	4.12
	B2	2.330		2.441	4.56	
	B3	2.336		2.441	4.33	
1	B11	2.341	2.338	2.436	3.91	4.04
	B12	2.333		2.436	4.22	
	B13	2.339		2.436	3.97	
2	B21	2.334	2.334	2.432	4.01	4.01
	B22	2.335		2.432	3.96	
	B23	2.333		2.432	4.06	
3	B31	2.330	2.330	2.429	4.05	4.06
	B32	2.328		2.429	4.15	
	B33	2.332		2.429	3.97	
4	B41	2.327	2.323	2.427	4.13	4.29
	B42	2.327		2.427	4.14	
	B43	2.315		2.427	4.61	
	B51	2.318		2.427	4.49	

5	B52	2.319	2.319	2.427	4.46	4.45
	B53	2.321		2.427	4.38	
7	B61	2.310	2.310	2.426	4.77	4.76
	B62	2.312		2.426	4.68	
	B63	2.309		2.426	4.82	

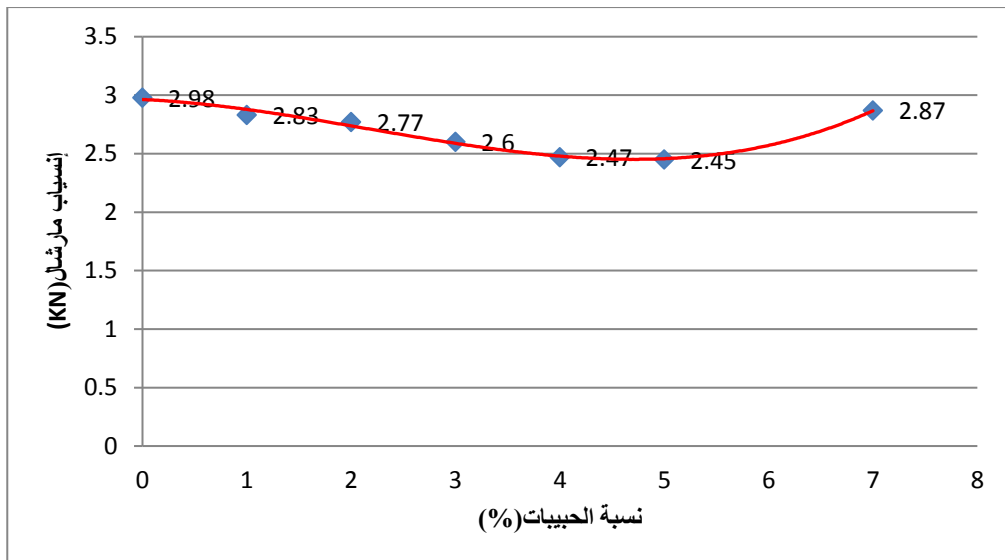
الجدول (3-6): خصائص اختبار مارشال الموافقة لنسبة حبيبات البولي بروبيلين

حبيبات البولي بروبيلين (%)	العينة	الوزن النوعي الحجمي للخلطة الاسفلتية Gsb	نسبة الحصى المكسر (%) Ps	نسبة الفراغات للحصى المكسر (%) V.M.A	المعدل (%) V.M. A	الفراغات المليئة بالأسفلت (%) V.F.A	المعدل (%) V.F.A
0	B1	2.592	95.20	13.44	14.02	74.21	70.70
	B2	2.592	95.20	14.42		68.37	
	B3	2.592	95.20	14.21		69.52	
1	B11	2.592	95.20	14.02	14.13	72.10	71.45
	B12	2.592	95.20	14.30		70.47	
	B13	2.592	95.20	14.07		71.78	
2	B21	2.592	95.20	14.27	14.27	71.88	71.89
	B22	2.592	95.20	14.22		72.15	
	B23	2.592	95.20	14.31		71.63	
3	BB31	2.592	95.20	14.40	14.41	71.90	71.84
	B32	2.592	95.20	14.50		71.34	
	BB33	2.592	95.20	14.34		71.28	
4	B41	2.592	95.20	14.53	14.67	71.58	70.76
	B42	2.592	95.20	14.54		71.51	
	B43	2.592	95.20	14.95		69.19	
5	B51	2.592	95.20	14.85	14.81	69.74	69.98
	B52	2.592	95.20	14.82		69.90	
	B53	2.592	95.20	14.76		70.29	
7	B61	2.592	95.20	14.15	15.14	68.49	68.58
	B62	2.592	95.20	14.07		68.97	
	B63	2.592	95.20	14.20		68.28	

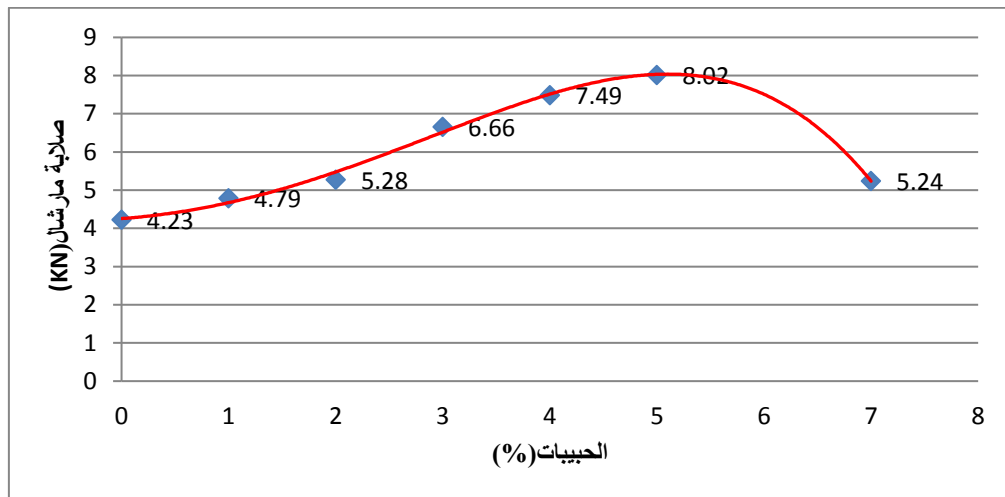
كما تم تمثيل العلاقة بين نسبة الحبيبات المضافة وبين كل خاصية من الخصائص التي يعطيها اختبار مارشال كما في الأشكال (7,8,9,10,11,12,13).



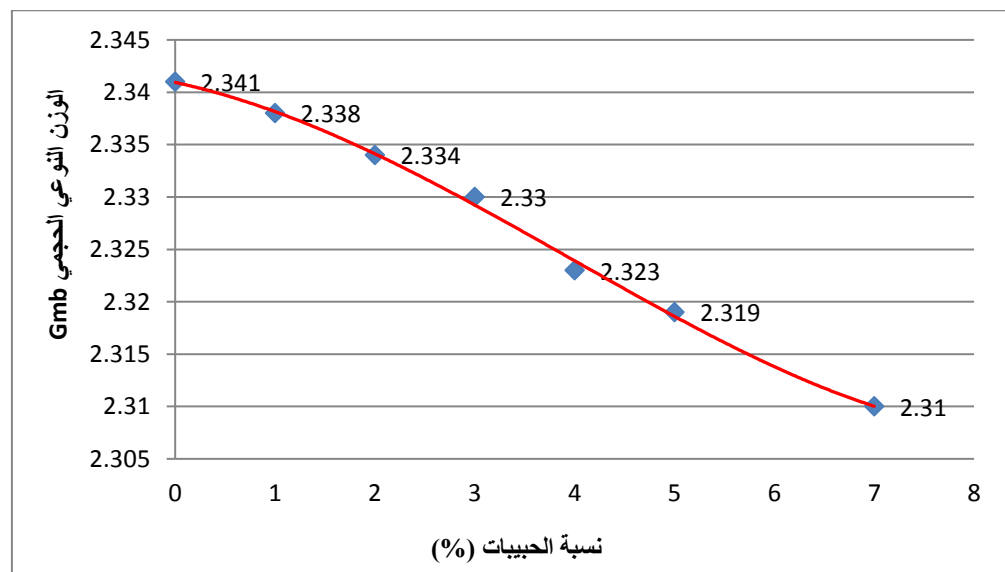
الشكل (7): علاقة نسبة حبيبات البولي بروبيلين مع ثبات مارشال



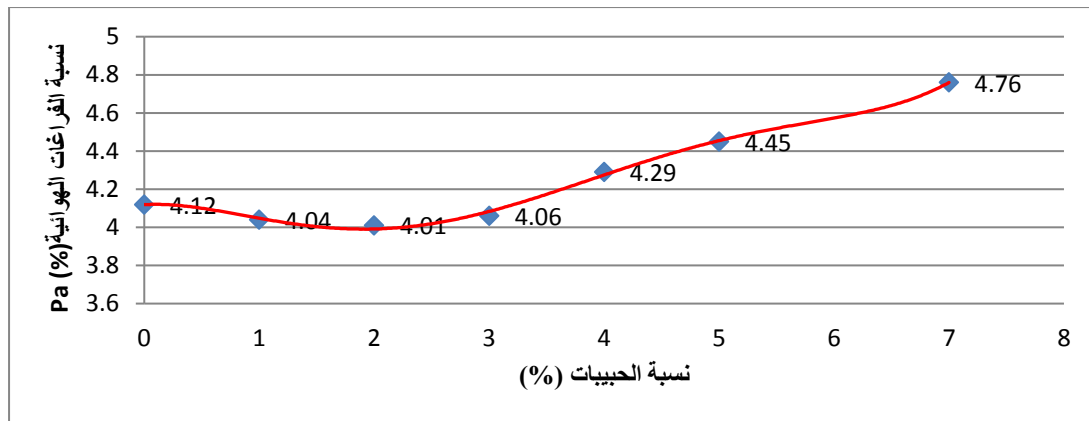
الشكل (8): علاقة نسبة حبيبات البولي بروبيلين مع إنسياب مارشال



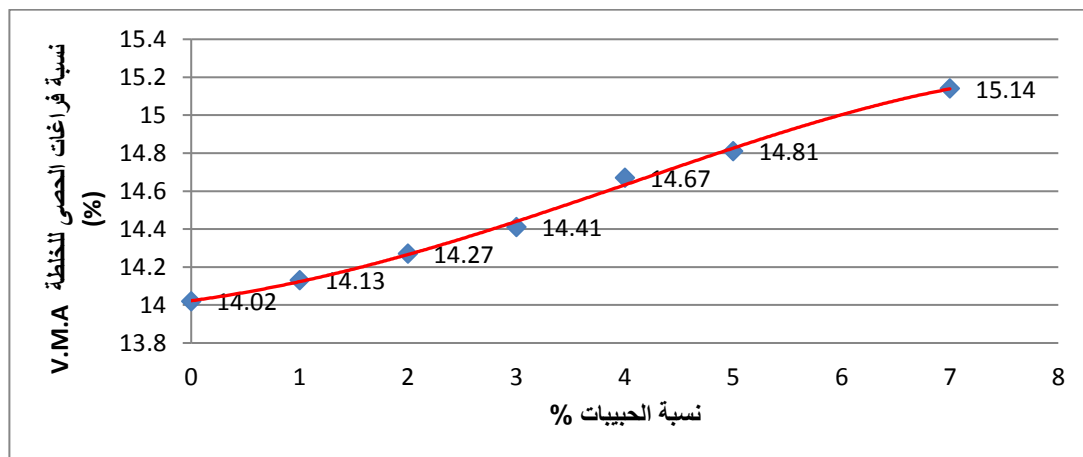
الشكل (9): علاقة نسبة حبيبات البولي بروبيلين مع صلابة مارشال



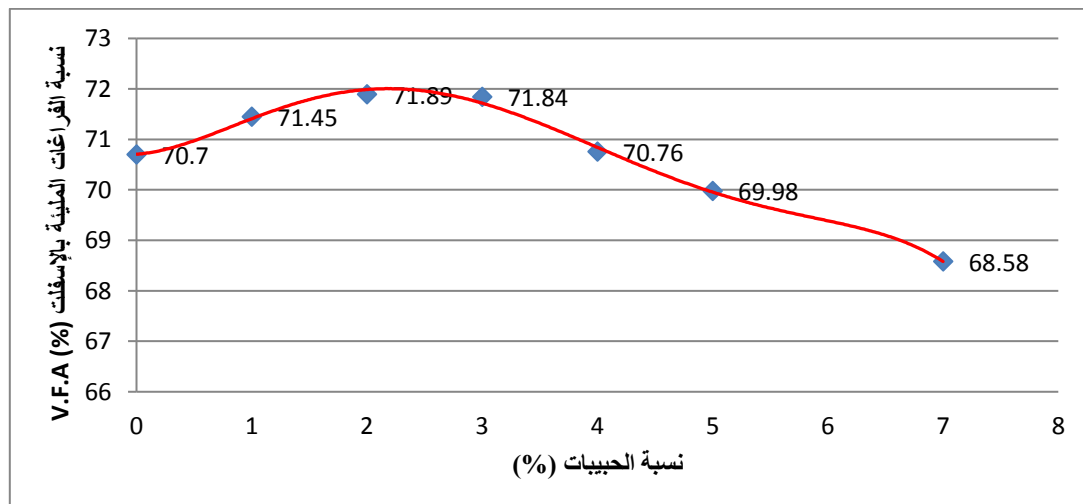
الشكل (10): علاقة نسبة حبيبات البولي بروبيلين مع الوزن النوعي الحجمي



الشكل (11): علاقة نسبة حبيبات البولي بروبيلين مع نسبة الفراغات الهوائية



الشكل (12): علاقة نسبة حبيبات البولي بروبيلين مع نسبة فراغات الركام الخشن والناعم والفيل في الخلطة الإسفلتية



الشكل (13): علاقة نسبة حبيبات البولي بروبيلين مع نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت

نلاحظ من خلال الأشكال السابقة أن إضافة حبيبات البولي بروبيلين بنسب مختلفة إلى الرابط الإسفلتي قد أعطى تحسناً في سلوكية الخلطة الإسفلتية الناتجة ويظهر ذلك من خلال التأثير على كل من الخصائص التالية:

1- التأثير على الثبات: - من خلال اختبار مارشال نلاحظ بأن قيم ثبات مارشال تزداد مع زيادة نسبة حبيبات البولي بروبلين المضافة حتى الوصول إلى قيمة عظمى تتناقص بعدها قيمة الثبات مع زيادة نسبة الحبيبات , فمن خلال الشكل (7) نلاحظ بأن حبيبات البولي بروبلين تؤثر بشكل بسيط على قيم الثبات في النسب القليلة ويبدأ التأثير الفعال للحبيبات بعد النسبة 2% من الإضافة لتبلغ قيمتها العظمى عند النسبة 5% من الإضافة حيث يزداد عندها الثبات بنسبة 56% عن العينة المرجعية, بعدها يتراجع تأثير الحبيبات على تحسين قيم الثبات حيث تبلغ قيمة الزيادة في الثبات عند النسبة 7% من الإضافة 19% تقريباً عن العينة المرجعية , وتفسير هذه السلوكية يعود إلى أنه في النسب القليلة من الإضافة تبدأ عملية التحسين على خصائص الرابط الإسفلتي إلا أن كمية الحبيبات تكون غير كافية لإظهار تأثير البوليمير على سلوكية الرابط الإسفلتي بالشكل الفعال ومع زيادة نسبة حبيبات البولي بروبلين المضافة يزداد التأثير على تحسين التصاق ولزوجة الرابط الإسفلتي الأمر الذي ينعكس على زيادة قيم الثبات وعند النسبة 5% تبدأ مرحلة التراجع حيث تصبح نسبة الحبيبات المضافة كبيرة بحيث يميل الرابط الإسفلتي ليصبح عبارة عن مواد بوليميرية مطلية بالزيوت ضمن المزيج الإسفلتي وذلك بصورة جزيئات كثيفة وثقيلة منتشرة ضمن الإسفلت , وخصائص المزيج المعدل ستتنع بشكل أساسي لخصائص البوليمير المضاف ويفقد خصائص المزيج المتجانس كل ذلك سيؤدي إلى تراجع قيمة الثبات لمارشال ,مع بقاءه محققاً لشروط التصميم وفق طريقة مارشال [2] .

2- التأثير على الإنسياب: - نلاحظ من الشكل (8) أن قيم الإنسياب تتناقص مع زيادة نسبة حبيبات البولي بروبلين المضافة إلى قيمة حدية بعدها ينعكس السلوك حيث تزداد قيم الإنسياب مع زيادة نسبة الحبيبات , فالإنسياب الحاصل في عينات مارشال عند الإنهيار يتناقص مع زيادة نسبة الحبيبات حتى الوصول إلى النسبة 4% التي يبدأ عندها الإنسياب بأخذ منحى عكسي حيث يكون عندها مقدار النقصان في قيمة الإنسياب عن العينة المرجعية 17% بعدها يزداد الإنسياب مع زيادة نسبة الحبيبات حيث يتراجع النقص في قيمة الإنسياب عند النسبة 7% إلى القيمة , 4% مع ملاحظة بقاء قيم الإنسياب من أجل جميع نسب الحبيبات المضافة ضمن الحدود المسموحة لمتطلبات تصميم الخلطة الإسفلتية المحددة وفق طريقة مارشال في التصميم [2] .

3- التأثير على صلابة الخلطة الإسفلتية: - يلاحظ من الشكل (9) أن الصلابة تزداد مع زيادة نسبة الحبيبات المضافة حتى الوصول إلى قيمة عظمى للصلابة تأخذ بعدها بالتناقص مع زيادة نسبة الحبيبات , حيث تزداد قيمة الصلابة مع الزيادة حتى النسبة 5% من الإضافة لتبلغ الزيادة 90% عن العينة المرجعية وتتناقص بعدها مع زيادة نسبة الحبيبات لتبلغ الزيادة 24% عند النسبة 7% من الإضافة، تفسير ذلك بأن زيادة نسبة حبيبات البولي بروبلين المضافة إلى الرابط الإسفلتي يزيد من التصاق الرابط الإسفلتي ويزيد من صلابته ويقلل من مرونته وهذا مايفسر زيادة الثبات وتناقص الإنسياب وبالتالي زيادة الصلابة مع زيادة نسبة الحبيبات المضافة.

4- التأثير على الوزن النوعي الحجمي: - من الشكل (10) نلاحظ بأن الوزن النوعي الحجمي وبالتالي الكثافة الحجمية للخلطة الإسفلتية تتناقص بصورة منتظمة تقريباً مع زيادة نسبة حبيبات البولي بروبلين المضافة, هذا التناقص في الكثافة الحجمية لا يؤثر على أداء الخلطة الإسفلتية المعدلة بالحبيبات حيث لا تتجاوز قيمة النقص في الكثافة الحجمية 1.5% عن العينة المرجعية وذلك عند النسبة 7% من الإضافة، يفسر ذلك بأنه مع زيادة نسبة الحبيبات المضافة إلى الرابط الإسفلتي تزداد لزوجة الرابط الإسفلتي وتزداد صلابته الأمر الذي يؤثر

على سهولة حركة المواد الحصوية في الخلطة الإسفلتية وبالتالي صعوبة إعادة توزيعها بالشكل الأفضل أثناء عملية الرص مما يقلل من كثافة الخلطة الإسفلتية الناتجة وبالتالي يقل الوزن النوعي الحجمي، إلا أن هذا التأثير يبقى صغيراً وبإمكان طاقة الرص المطبقة للتقليل من تأثيره بدليل الإنخفاض في قيمة النقص في الكثافة الحجمية عند النسبة الكبيرة من الحبيبات المضافة.

5- التأثير على نسبة الفراغات الهوائية: - من الشكل (11) نلاحظ بأن سلوك الفراغات الهوائية مع زيادة نسبة حبيبات البولي بروبيلين المضافة يأتي تأكيداً على سلوك الكثافة الحجمية، حيث تزداد نسبة الفراغات الهوائية مع زيادة نسبة الحبيبات المضافة بعد النسبة 2% من الإضافة إلا أن هذه الزيادة تكون غير مؤثرة بشكل كبير على نسبة الفراغات الهوائية، وتبقى قيمة نسبة الفراغات عند جميع نسب الإضافة محققة لمتطلبات التصميم المحددة وفق شروط التصميم لطريقة مارشال [2]، ويفسر ذلك بتفسير مشابه لتفسير سلوك الكثافة الحجمية، فمع زيادة نسبة الحبيبات المضافة تزداد لزوجة وصلابة الرابط الإسفلتي مما يؤثر على فاعلية عملية الرص فتقل الكثافة الحجمية وبالتالي تزداد نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الإسفلتية.

6- التأثير على نسبة فراغات المواد الحصوية في الخلطة الإسفلتية: - من الشكل (12) نلاحظ بأن نسبة الفراغات بين المواد الحصوية في الخلطة الإسفلتية تزداد بصورة منتظمة تقريباً مع زيادة نسبة حبيبات البولي بروبيلين المضافة، وتكون الزيادة العظمى في نسبة الفراغات عند النسبة 7% من الإضافة وتبلغ 8% عن العينة المرجعية، يفسر ذلك بأن النقصان في الكثافة الحجمية للخلطة الإسفلتية ينتج عنه زيادة في نسبة الفراغات بين المواد الحصوية وبما أن النقصان في الكثافة الحجمية غير كبير تكون أيضاً الزيادة في نسبة فراغات المواد الحصوية غير كبيرة أيضاً وتبقى نسبة الفراغات بين المواد الحصوية محققة لشروط التصميم من أجل جميع نسب الإضافة.

7- التأثير على نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت في الخلطة الإسفلتية: - كما هو موضح في الشكل (13) فإن نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت تزداد مع زيادة نسبة حبيبات البولي بروبيلين حتى النسبة 2% من الإضافة ثم تبدأ بالتناقص مع زيادة نسبة الحبيبات المضافة، وتفسير ذلك بأن نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت تتبع لنسبة الفراغات الهوائية ولنسبة فراغات المواد الحصوية وبالتالي مع زيادة كل من نسبة الفراغات الهوائية ونسبة فراغات المواد الحصوية ستأخذ الفراغات المليئة بالإسفلت بالتناقص وتبقى نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت من أجل جميع نسب الإضافة محققة لشروط ومعايير تصميم الخلطة الإسفلتية المحددة وفق شروط التصميم لطريقة مارشال [2].

الاستنتاجات:

أظهرت النتائج المختبرية تحسن في مختلف خصائص الخلطة الإسفلتية نتيجة إضافة حبيبات البولي بروبيلين، ومن أهم الاستنتاجات التي خلصت إليها هذا البحث: -

1- إضافة حبيبات البولي بروبيلين تزيد من قيمة ثبات مارشال وتقلل من قيمة الإنسياب مما يزيد من مقاومة وثبات الخلطة الإسفلتية تحت تأثير الحمولات الناتجة عن الحركة المرورية.

2- تزداد صلابة الخلطة الإسفلتية عند إضافة حبيبات البولي بروبيلين وبالتالي تزداد مقاومتها للتشوهات اللدنة بما فيها التحدد مما يجعلها مناسبة للاستخدام بشكل خاص في المناطق التي تتعرض لمناخ حار لفترة طويلة من السنة.

3- تزداد قابلية المزج والتشغيل للخلطة الإسفلتية المحسنة بحبيبات البولي بروبيلين من خلال زيادة نسبة فراغات المواد الحصوية في الخلطة الإسفلتية ونسبة الفراغات الهوائية دون التأثير بشكل كبير على الكثافة الحجمية.

4- الخلطة الإسفلتية المعدلة بحبيبات البولي بروبيلين بقيت محققة لمتطلبات التصميم المحددة وفق طريقة مارشال في التصميم من أجل جميع نسب الإضافة.

References

- [1] O'FLAHERTY C.A., 1988 - Highway Engineering. Highway, Third Edition, Vol.2, Edward Arnold, London.
- [2] Asphalt Institute, 1969 - Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation. Manual Series No.17, USA.
- [3] SUDHAKAR R.K.; RAGHAVA R.K.; PANDEY B.B., 1999 - Cracking in Bituminous Layers Placed over Cracked Pavement. Transportation Research Board.
- [4] National Cooperative Highway Research Program, 1982 - Minimizing Reflection Cracking of Pavement Overlays. Synthesis of Highway practice 92, pp.1-25.
- [5] KHALEEL H.A., 2004 - Minimizing Reflective Cracking Potential of Asphalt Concrete Overlay. Al-Mustansiria University, Iraq, p.115.
- [6] TERREL R.L.; CURTIS C.; PERRY L.M.; AL-SWAILIMI S.; BRANNON E.J., 1991 - Asphalt Aggregate Interaction. Proceeding of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.60, (cited by Ref. 98).
- [7] KHALAF G.A., 2000 - Material Characterization of Polymer Modified Asphalt Mixtures. Cairo University, Giza, Egypt, p.246.
- [8] CARPENTER S.H.; VANDAM T., 1987 - Laboratory Performance Comparisons of Polymer-Modified and Unmodified Asphalt Concrete Mixtures. Transportation Research Record 1115.
- [9] PEREZ F.E.; GORDILLO J., 1990 - Optimization of Porous Mixes Through the Use of Special Binders. TRB No. 1265.
- [10] KATTAK M.J.; BALADI G.Y., 1998 - Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt Mixtures. Transportation Research Record, No. 1638.
- [11] QI XICHENG.; SEBAALY P.E.; EPPS J.A., 1995 - Evaluation of Polymer-Modified Asphalt Concrete Mixtures. Journal of Materials in Civil Engineering, V7, No.2.
- [12] AL-HADEDY Abd-R.I.J., 2001 - Influence of Polyethylene and Sulfur Waste on Characteristics of Asphalt Paving Materials. M.Sc., University of Al-Mustansiriyyah, Iraq.

- [13] IBRAHIM Abd-A.M.Al-D., 2003 - Evaluation of the Factors Influencing the Tensile Properties of Asphalt Paving Materials. M.Sc., University of Baghdad, Iraq.
- [14] KALOUSH K.E.; ZEIADA W.A.; BILIGIRI K.P.; RODEZNO M.C.; REED J., 2010 – Evaluation of Fiber-Reinforced Asphalt Mixture Using Advanced Material Characterization Tests. Graduate researches, Arizona State University.
- [15] NAPA Research and Education Foundation, 1994 - Hot Mix Asphalt Material, Mixture Design, and Construction. Fourth edition.
- [16] SHACKELFORD F.J., 1992 - Introduction to Materials Science for Engineering. Third edition, University of California, USA.
- [17] BERNARD B., 1996 - Polymer-Modified Asphalt Cements Used in the Road Construction Industry: Basic Principles. Transportation Research Record, No.1535.
- [18] American Society of Testing and Materials, 2004 - Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.